

Pemodelan dan Simulasi Sistem Kendali PID dan Fuzzy pada Motor DC Menggunakan LabView

PID and Fuzzy Control System Modeling and Simulation on DC Motor Using LabView

Kartika Sekarsari¹, Ojak Abdul Rozak^{1*}, Ariyawan Sunardi¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pamulang

¹Jl. Raya Puspitek, Buaran, Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310, Indonesia
dosen00181@unpam.ac.id¹, dosen01314@unpam.ac.id^{1*}, dosen00332@unpam.ac.id¹

Abstrak – Motor DC didesain untuk dioperasikan bersumber arus searah (DC). Motor DC lazim digunakan pada perangkat-perangkat elektronik dan listrik, serta aplikasi di industri, seperti: penggerak robot, motor konveyor, penggerak pintu geser otomatis, dan yang lainnya. Artikel ini menguraikan tentang pemodelan dan simulasi sistem kendali motor DC menggunakan pengendali PID dan pengendali berbasis Logika Fuzzy untuk mendapatkan optimisasi berdasarkan fungsi sistem kendali, yaitu : pengukuran, pencatatan, perhitungan, perbandingan dan perbaikan. Penelitian ini menggunakan motor DC tipe Pittman dengan melakukan pemodelan matematika motor DC, model kontroler PID, dan model kontroler Fuzzy dalam bentuk simulasi LabView, selanjutnya dianalisa dan dibandingkan mengenai performansi, karakteristik, dan respon transien yang dihasilkan oleh kendali PID dan kendali Fuzzy yang diterapkan dalam motor DC. Hasil dari simulasi memperlihatkan respon keluaran dengan pengendali Fuzzy mencapai keadaan tunak lebih cepat sebesar 2,73 ms dibandingkan dengan menggunakan pengendali PID. Namun demikian, respon sistem dengan pengendali Fuzzy memperlihatkan adanya overshoot sebesar 3,52 %.

Kata Kunci: PID, fuzzy, motor DC, LabView.

Abstract – DC motors are designed to be operated from direct current (DC). DC motors are commonly used in electronic and electrical devices, as well as industrial applications, such as: robot drives, conveyor motors, automatic sliding door drives, and others. This article describes the modeling and simulation of a DC motor control system using PID controllers and Fuzzy Logic based controllers to obtain optimization based on control system functions, namely: measurement, recording, calculation, comparison and improvement. This research uses a Pittman type DC motor by carrying out mathematical modeling of the DC motor, PID controller model, and Fuzzy controller model in the form of a LabView simulation, then analyzed and compared regarding the performance, characteristics and transient response produced by PID control and Fuzzy control applied in DC motors. The results of the simulation show that the keluaran response with the Fuzzy controller reaches steady state faster by 2.73 ms compared to using the PID controller. However, the response of the system with the Fuzzy controller shows an overshoot of 3.52%.

Keywords: PID, fuzzy, DC motor, LabView.

1. Pendahuluan

Sistem kendali merupakan suatu rangkaian komponen bersifat fisis yang mengarahkan aliran energi ke suatu proses atau mesin supaya memiliki respon yang diharapkan. Tujuannya untuk mendapatkan optimasi berdasarkan fungsi sistem kendali, seperti: mengukur, membandingkan, mencatat dan menghitung, serta memperbaiki. Instrumentasi dan kendali industri saat ini dibantu unit kontroler makanya proses produksi dapat menjadi lebih efektif dan efisien. Kontroler ini difungsikan untuk memastikan lebih baiknya setiap proses produksi. Keberadaan kontroler dalam sebuah sistem berkontribusi besar terhadap perilaku sistem. Karakteristik *plant* harus diterima agar berubahnya perilaku sistem tersebut hanya dapat dilakukan dengan menambahkan suatu sub dari sistem kontroler. Kontroler ini bertugas untuk mereduksi sinyal kesalahan, seperti bedanya antara sinyal pengaturan dan sinyal aktual atau sama dengan sinyal pengaturan. Semakin cepat respon sistem terhadap sinyal aktual dan kesalahan yang terjadi semakin kecil, maka kinerja sistem kendali yang diterapkan menjadi semakin baik [1] [2].

Motor bersumber daya arus searah (DC) merupakan unit elektromekanis yang menggunakan prinsip medan magnet dan konduktor dalam mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik putar. Motor DC lazim diaplikasikan di industri, seperti: penggerak robot, motor konveyor, penggerak pintu geser otomatis, dan lainnya. Motor DC berkecepatan rotasi sebesar 3000 hingga 8000 *revolution per minute* (rpm) pada tegangan operasinya, namun kecepatan putarannya dapat menurun akibat pembebanan, dan mengakibatkan melambat dan tidak konstan [3] [4].

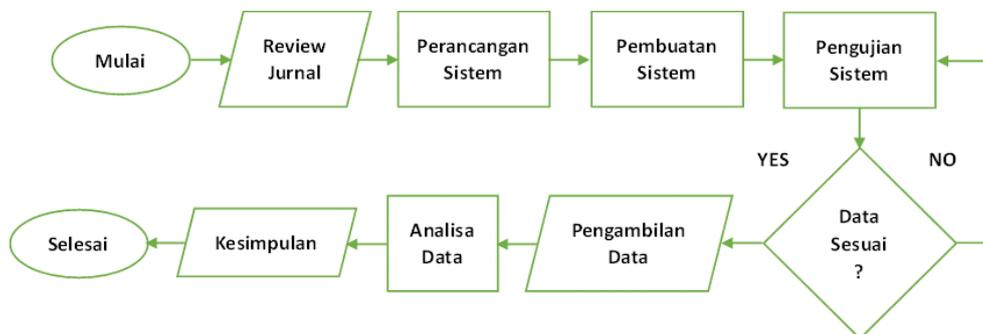
Penelitian terdahulu dengan metode sistem kendali dalam mengatur kecepatan putaran motor DC diantaranya: Alifa Restu Janwar Wirawan (2016) bahwa tuning PID metode *ziegler-nichols* dapat mempermudah dalam menentukan ketepatan nilai dari K_p , T_i , dan T_d yang mendekati presisi. Muhammad Muhandian (2020) bahwa kendali tuning PID *trial and error* dan *visual basic* dapat menghasilkan kecepatan putaran dari motor DC tercapai dan stabil sesuai pengaturan yang ditentukan [5], [6]. Sabar Triyani (2018) bahwa metode titik pengaturan *fuzzy* yang digunakan dapat mengendalikan kecepatan motor DC dengan nilai titik pengaturan yang berubah-ubah [8].

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirancang sebuah pemodelan dan simulasi sistem kendali *proportional integral derivative* (PID) dan kendali *Fuzzy* motor DC berbasis LabView. Tujuannya untuk merumuskan model matematika motor DC, model kontroler PID, dan model kontroler *Fuzzy* dalam bentuk simulasi LabView. Selanjutnya, dari kedua metode tersebut dapat dianalisa dan dibandingkan mengenai performansi, karakteristik, dan respon transien yang dihasilkan oleh kendali PID dan kendali *Fuzzy* yang diterapkan dalam motor DC, untuk dapat dijadikan pembelajaran dalam sistem kendali [9] [10][11].

2. Metode Penelitian

2.1. Tahapan Penelitian

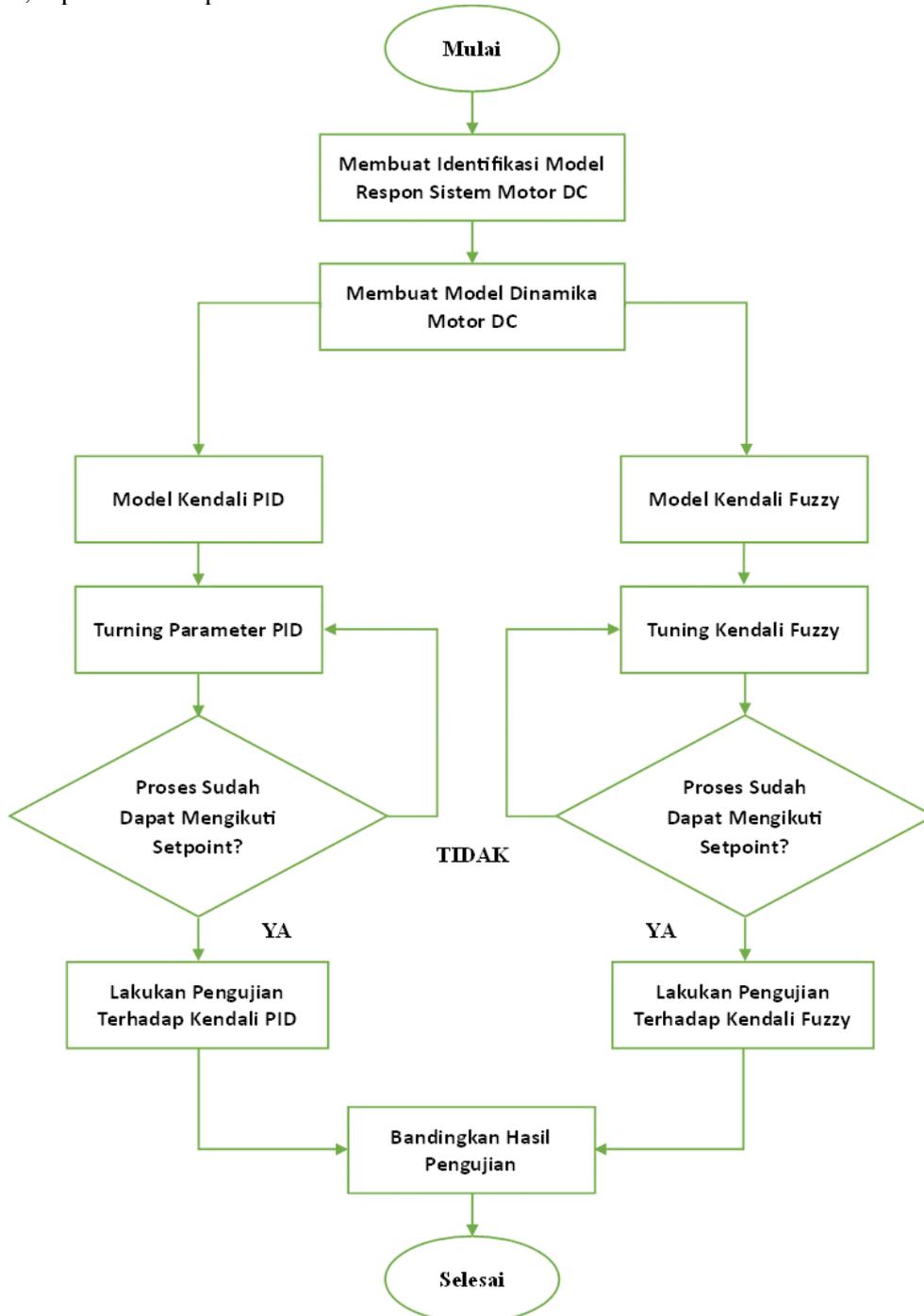
Gambar 1 merupakan tahapan penelitian secara garis besar yang menitikberatkan pada tahapan eksperimen yang meliputi: perancangan, pembuatan dan pengujian sistem. Selanjutnya tahapan analisis, yang meliputi: pengambilan dan analisis data.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

2.2. Perancangan Sistem

Sistem pemodelan dan simulasi kendali PID dan kendali *Fuzzy* pada kecepatan motor DC. Sistem ini dirancang dalam bentuk modul *human machine interface* (HMI). Desain HMI pada penelitian ini menggunakan *software* LabView sebagai media pembelajaran Desain Sistem Kendali, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir perancangan sistem.

Penelitian ini dimulai dengan melakukan identifikasi sistem perancangan model motor DC, perancangan parameter PID, dan perancangan parameter fungsi keanggotaan *Fuzzy*. Selanjutnya dilakukan uji coba (*tuning*) pada kedua sistem kendali PID dan *Fuzzy* untuk kecepatan putaran motor DC dengan memasukkan nilai *setpoint* pada panel yang telah dibangun dalam *software*

LabView. Nantinya, apakah proses *tuning* dari kedua pengendali sudah dapat mengikuti *setpoint*? Jika tidak maka akan dilakukan penalaan (*tuning*) ulang, namun jika 'YA' maka, data akan diproses menggunakan *setting* parameter PID dan fungsi keanggotaan *Fuzzy* yang sudah ditentukan, sampai mendapatkan *proses variable* (PV) yang sesuai sehingga *error* yang didapat sama dengan nol, atau nilai *set-point = proses variable*. Selanjutnya, respon keluaran dari kedua sistem kendali tersebut akan dianalisa dengan perhitungan seperti berikut [12].

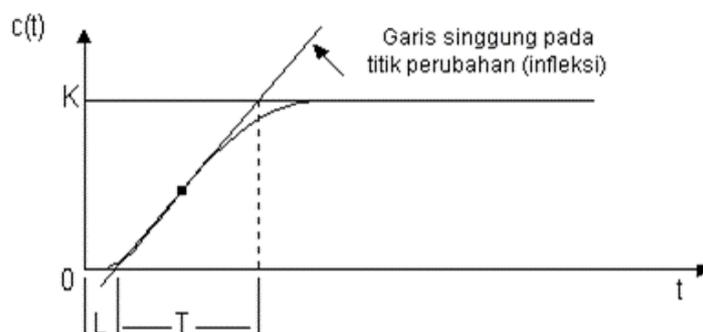
- Rise time* (waktu naik), merupakan waktu yang dibutuhkan respon untuk mulai naik dari 10 hingga 90%, 5 hingga 95%, atau 0 hingga 100% dari nilai masukan yang ditentukan.
- Setling time* atau waktu tunak adalah waktu yang dibutuhkan kurva respon untuk menggapai dan tetap pada daerah di sekitar nilai masukan yang diberikan. Ukurannya di tentukan dengan persentase mutlak dari harga akhir yang biasanya 5% atau 2%.
- Maksimum *overshoot*, adalah nilai puncak maksimum data yang di ukur dari nilai masukan. Bila nilai respon dalam keadaan tidak sama dengan nilai masukan yang telah diberikan, maka persentase *overshoot* di definisikan dengan persamaan perhitungan.
- Tunak *error*, merupakan selisih dari nilai masukan yang telah diberikan dengan nilai aktual respon dalam keadaan tunak pada waktu tak terhingga.

Hasil keduanya akan dibandingkan dan dianalisa manakah yang menunjukkan performa yang paling baik untuk sistem kendali putaran motor DC.

2.3. Metode Tuning Ziegler Nichols 1

Dengan menggunakan fungsi alih motor DC, proses *tuning* dilakukan dengan program *open loop* yaitu memberikan perintah pengendalian tanpa mempengaruhi kendali, artinya *open loop* yang digunakan hanya untuk mengetahui respon motor dan grafik yang ditampilkan saat diberi nilai kecepatan. *Open loop* ini dijadikan acuan untuk pengambilan data parameter K_p , T_i dan T_d dengan pendekatan hukum *Ziegler Nichols*. Algoritma dengan metode *tuning Ziegler Nichols* secara keseluruhan adalah sebagai berikut [13].

- Membuat kendali secara lup terbuka pada *plant* untuk mengetahui respon awal *plant* saat diberikan *setpoint*.
- Menambahkan nilai K_p sampai dengan diperoleh respon dengan osilasi atau mencapai *setpoint*.
- Mengamati tanggapan sistem sampai berbentuk kurva S. Setelah diperoleh respon dengan garis singgung terhadap *setpoint*, ditentukan nilai L dan T . Seperti terlihat pada Gambar 3.
- Berdasarkan penalaan *Ziegler Nichols* selanjutnya dimasukkan dalam perhitungan kurva respon *open loop* sistem, maka diperoleh nilai parameter-parameter: $K_p = 6$; $T_i = 0,2$, dan $T_d = 0,05$.



Gambar 3. Tanggapan kurva S.

2.4. Pemodelan Matematis

Untuk memenuhi kebutuhan dalam pemodelan matematis, model motor DC yang digunakan dalam penelitian ini adalah Type PITMAN Series GM 14900 type 1 tahun 2013. Secara detail spesifikasi motor DC tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 [14]:

Tabel 1. Spesifikasi motor DC.

Parameter	Keterangan
<i>Series</i>	: PITMAN Series GM 1490
<i>Type</i>	: 1
<i>No Load Speed</i>	: 4230 rpm
<i>No Load Current</i>	: 0,20 A
Konstanta <i>Amplifier</i>	: 10 N-m/A
Konstanta Torsi Motor	: 9,46 NM/A
Konstanta <i>Back EMF</i>	: 6,99 V/k.rpm
Torka Beban (T_L)	: 3,53 Nm
Momen Inersia	: $1,13 \times 10^{-5}$ kg/m ²
Induktansi Jangkar (L_a)	: 4,10 mH
Resistansi (R_a)	: 4,45 ohms

Seperti terlihat pada Tabel 1, dengan kondisi konstanta medan, fluks dan torsi konstan serta memiliki arah sesuai kumparan magnetnya, maka dapat diketahui melalui Persamaan (1) [15].

$$T_m(t) = K_T \cdot i_a \quad (1)$$

Dari Persamaan 1 didapat besarnya tegangan keluaran (e_t) pada lup terbuka dengan menggunakan Persamaan (2) berikut.

$$e_t = K_T \quad (2)$$

Sehingga didapatkan besarnya tegangan di terminal jangkar motor dengan Persamaan (3).

$$e_a = K_b^e \quad (3)$$

Berdasarkan hukum Kirchoff tegangan (KVL) didapat melalui Persamaan (4).

$$e_a = i_a \cdot R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (4)$$

Saat konduktor pada medan magnet bergerak, maka tegangan dibangkitkan melalui ujung-ujung konduktor. Tegangan tersebut merupakan kecepatan motor yang sebanding dengan emf balik, jika berlainan arah dengan aliran arus. Pada Persamaan (5) dapat diketahui beberapa parameter seperti: hubungan emf balik (e_b) dalam volt dengan kecepatan motor (ω_m) dalam rad/detik.

$$e_b = K_b \omega_m(t) \quad (5)$$

Sehingga keseimbangan torsi motor memiliki Persamaan (6) berikut.

$$J \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_T i_a \quad (6)$$

Persamaan transformasi *laplace* dari pemodelan motor DC didapat sebagai berikut.

$$T(s) = \frac{\left(\frac{K_T}{JL_a}\right)}{s^2 + s(L_a \cdot T_L + JR_a) + (R_a \cdot T_L + K_b \cdot K_T)}$$

Sehingga diperoleh

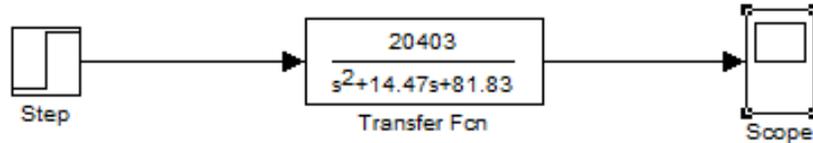
$$T(s) = \frac{20403}{s^2 + 14,47s + 81,83}$$

Dengan e_a = input voltage (Volt), K_T = torque constant (Nm/A), J = equivalent moment of inertia (Kgm²), L_a = coil inductance (H), T_L = load torque (Nm), m = motor speed (rpm), R_a = resistance (Ohm), K_b = back emf constant (V/s.rad), dan i_a = coil current (A).

3. Hasil dan Pembahasan

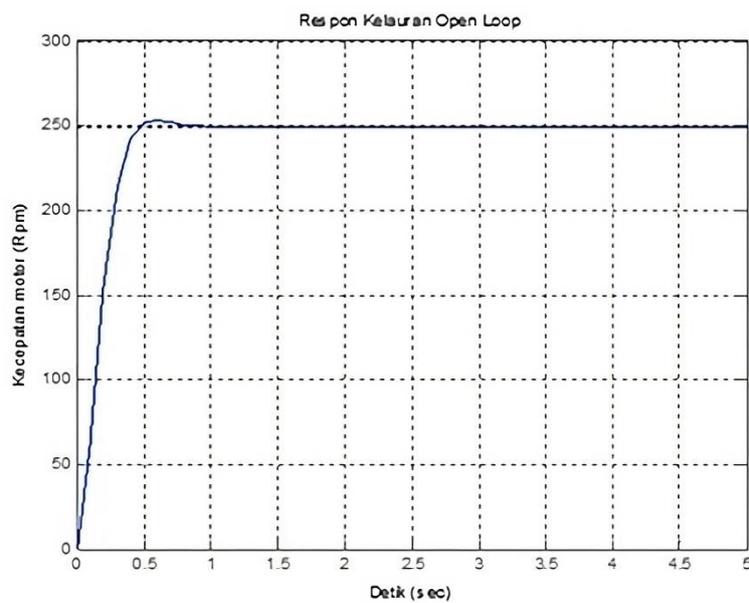
3.1. Pengujian Sistem pada Lup Terbuka

Uji coba Sistem pada Lup Terbuka menghasilkan respon keluaran yang dihasilkan. Dengan mengacu pada data spesifikasi motor DC dan proses perhitungan menggunakan persamaan transformasi laplace, maka didapatkan hasil respon keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Lup terbuka pada motor DC.

Seperti yang terlihat pada keluaran sistem pada lup terbuka (*open loop*), bahwa harus diperkuat dengan gambar. Gambar 4 tidak menunjukkan kesesuaian dengan pernyataan ini. Untuk menunjukkan adanya osilasi seharusnya diperlihatkan osilasi tersebut dalam gambar 5. Oleh karenanya, dari hasil respon keluaran ini akan dilakukan metode *tuning* dengan *Ziegler Nichols* untuk mendapatkan parameter-parameter kendali seperti: K_p , T_i , dan T_d sesuai dengan keinginan.



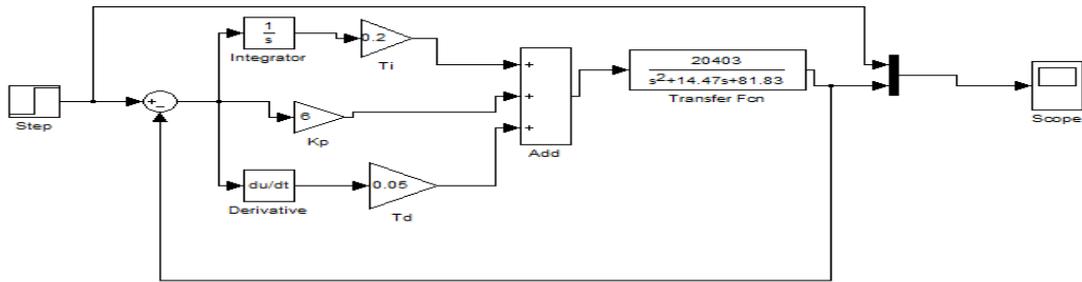
Gambar 5. Respon keluaran lup terbuka motor DC.

3.2. Proses Tuning Parameter PID

Penggunaan kendali PID pada suatu sistem industri, umumnya digunakan untuk menentukan presisi suatu umpan balik yang diberikan dengan keluaran sesuai dengan keinginan [16]. Pada proses ini akan dilakukan pengujian pengendali PID dan *Fuzzy*.

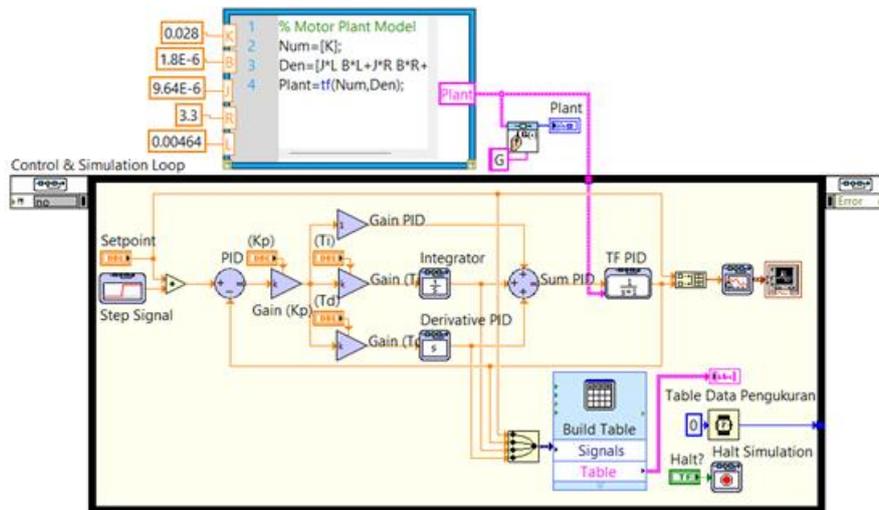
3.2.1. Proses Uji Coba Dengan Pengendali PID

Setelah nilai-nilai parameter PID seperti K_p , T_i , dan T_d diperoleh, selanjutnya ketiga parameter ini ditempatkan di depan fungsi alih *plant* motor DC sebagai pengendali. Berikut adalah sistem lup tertutup (*close Loop*) pada pengendalian motor DC. Nilai-nilai parameter pengendali PID adalah: $K_p = 6$; $T_i = 0,2$, dan $T_d = 0,05$. Ilustrasi kendali PID pada motor DC seperti terlihat pada Gambar 6.

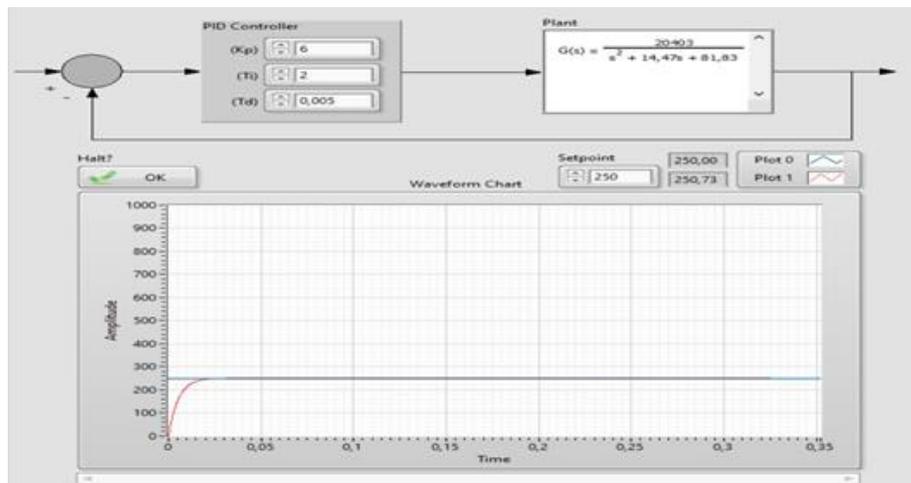


Gambar 6. Kendali PID pada motor DC.

Gambar 6 memperlihatkan diagram simulasi dari kendali motor DC menggunakan pengendali PID. Berdasarkan hasil simulasi LabView diperlihatkan pada Gambar 7-8 diperoleh kurva respon yang dihasilkan dengan pengendali PID dengan nilai sistem sebesar 250 rpm. Hasil yang diperoleh ini cukup baik dan menunjukkan parameter PID tersebut ternyata mampu meniadakan sehingga membuat sistem mengalami redaman lebih. Namun, respon untuk mencapai keadaan tunak adalah cukup lama yaitu sebesar 0,04 s.



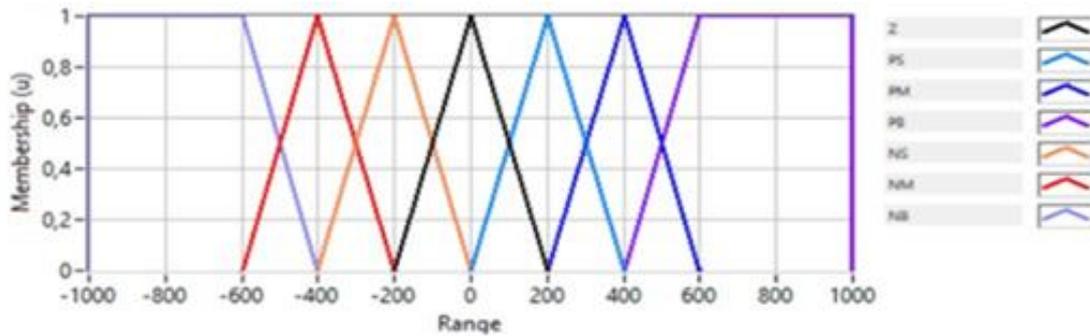
Gambar 7. Kendali PID pada motor DC dengan LabView.



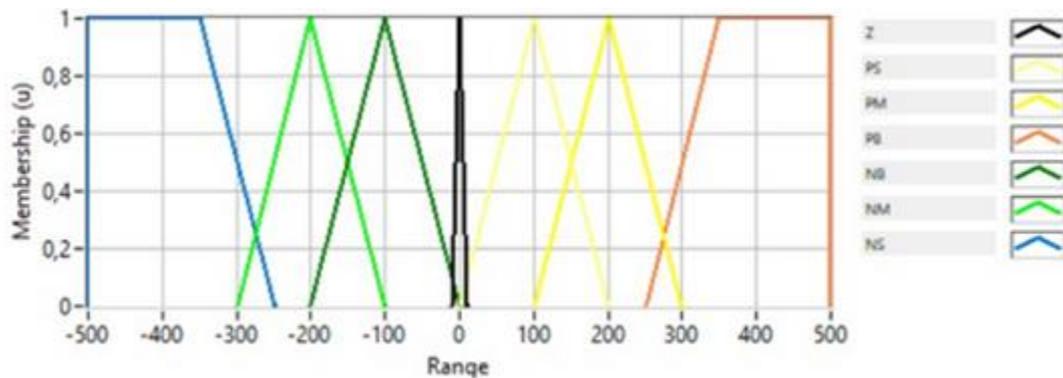
Gambar 8. Respon keluaran dengan pengendali PID pada LabView.

3.2.2. Proses Uji Coba Dengan Pengendali Fuzzy

Pada tahapan ini, dimodelkan dua buah fungsi keanggotaan masukan Fuzzy yang terdiri dari *error* dan *delta error*, serta satu keluaran Fuzzy. Gambar 9-10 merupakan suatu fungsi keanggotaan masukan dan keluaran Fuzzy.



Gambar 9. Fungsi keanggotaan masukan



Gambar 10. Fungsi keanggotaan keluaran.

Berdasarkan Gambar 9-10 dapat dijelaskan fungsi keanggotaan masukan maupun keluaran. Dimana Z: zero, PS: *posistive small*, PM: *posistive medium*, PB: *positive big*, NS: *negative small*, NM: *negative medium*, dan NB: *negative big*.

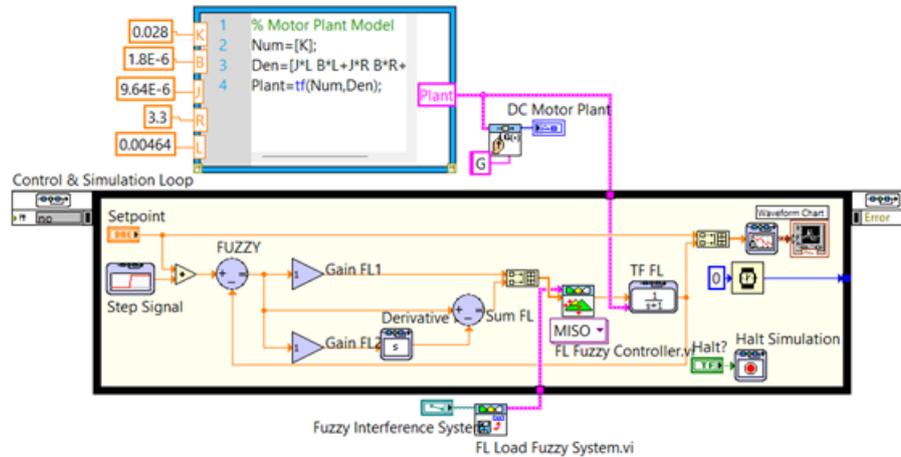
Tahapan selanjutnya adalah merancang basis aturan (*rule evaluation*) yang digunakan untuk membentuk aturan pengendalian sistem Fuzzy. Dalam hal ini, basis aturan dipetakan dalam bentuk matriks yang memuat logika manusia yang disesuaikan dengan bentuk penelitian. Tabel 2 memperlihatkan matriks yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. Matriks basis aturan.

	Error							
Delta	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB	
Error	PB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	Z
	PM	PB	PM	PM	PS	PS	Z	NS
	PS	PB	NM	PM	PS	Z	NS	NM
	Z	PM	PS	PS	Z	NS	NM	NM
	NS	PM	PS	Z	NS	NM	NM	NB
	NM	PS	Z	NS	NS	NM	NB	NB
	NB	Z	NS	NM	NM	NB	NB	NB

Selanjutnya dilakukan simulasi kendali fuzy dengan menggunakan software LabView. Proses pengambilan keputusan (*defuzzifikasi*) dilakukan menggunakan metode COA (*centre of*

area) dengan keluaran. Bentuk diagram sistem *Fuzzy* pada LabView diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram blok sistem *fuzzy* pada LabView.

Berdasarkan hasil simulasi LabView, terlihat bahwa kurva respon yang dihasilkan dengan pengendali *Fuzzy* dengan nilai *setpoint* sistem sebesar 250 rpm memiliki hasil yang cukup bagus yakni mencapai keadaan tunak. Namun demikian, respon keluaran memiliki *overshoot*. *Overshoot* ini terjadi bisa disebabkan oleh adanya pengambilan nilai interval pada fungsi keanggotaan *Fuzzy* yang kurang tepat. Tabel 3 merupakan perbandingan nilai repon keluaran sistem.

Tabel 3. Respon keluaran.

Respon Sistem	Setpoint (rpm)	Td (detik)	POS (%)	Tr (detik)	Tp (detik)	Ts (detik)
Close Loop Tanpa Pengendali	250	0,01	85,2952	0,0066	0,0219	0,996
Close Loop dengan PID	250	0,02	-	0,033	0,001	0,0424
Close Loop dengan <i>Fuzzy</i>	250	0,0011	3,52	0,0013	0,002	0,00273

Dapat dijelaskan dari Tabel 3, dimana Td merupakan *delay time*, POS merupakan *percent overshoot*, Tr merupakan *rise time*, Tp merupakan *peak time*, dan Ts merupakan *settling time*. Berdasarkan hasil perbandingan pada Tabel 3, respon keluaran sistem dengan kendali *Fuzzy* lebih memiliki kecepatan dalam mencapai keadaan tunak jika dibandingkan dengan keluaran sistem dari kendali PID. Pencapaian keadaan tunak dalam pengendali PID disebabkan adanya waktu yang cukup panjang pada respon keluaran.

4. Kesimpulan

Jika dibandingkan antara pengendali PID dengan pengendali *Fuzzy* pada model sistem untuk motor DC dalam penelitian ini, maka respon keluaran dengan pengendali *Fuzzy* mencapai keadaan tunak sebesar 2,73 ms dibandingkan dengan menggunakan pengendali PID. Namun demikian, adanya *overshoot* dalam respon keluaran pengendali *Fuzzy* ternyata tidak mempengaruhi kecepatan responnya untuk mencapai keadaan tunak.

Referensi

- [1] A. Bature, M. Muhammad, A. Abdullahi. "Identification and real time control of a dc motor," in IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, no. 7, pp. 54–58, 2013.
- [2] S. Tzafestas, P. Borne, *Intelligent systems, control and automation: science and engineering*. Springer, 2012.

- [3] A. Waroh. "Analisa dan simulasi sistem pengendalian motor DC," in *Jurnal Ilmiah Sains*, pp. 80–86, 2014.
- [4] A. Wiriawan, A. Irawan. "Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol Proporsional Integral Derifatif (PID) Berbasis LabView Motor DC Speed Adjustment By Propotional Integral Derivative (PID) Based on LabView," *Telekontran*.
- [5] R. Muhardian, K. Krismadinata. "Kendali Kecepatan Motor DC Dengan Kontroller PID dan Antarmuka Visual Basic," in *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 1, pp. 328–339, 2020.
- [6] S. Triyani. "Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis Fuzzy Setting Point pada Labview," in *Journal of Applied Electrical Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 6–11, 2018.
- [7] Somwanshi, D., et al. "Comparison of fuzzy-PID and PID controller for speed control of DC motor using LabVIEW," in *Procedia Computer Science*, vol. 152, pp. 252–260, 2019.
- [8] N. Narkhede, A. Kadu, S. Sondkar, "LabVIEW based system for PID tuning and implementation for a flow control loop," in *2016 International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, 2016, pp. 436–442.
- [9] L. Ying, "The Simulation Design of PID control based on LabVIEW and MATLAB," in *2018 International Symposium in Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI)*, 2018, pp. 1–8.
- [10] R. Panda, *Introduction to PID controllers: theory, tuning and application to frontier areas*. BoD–Books on Demand, 2012.
- [11] National Instruments (2016), "LabVIEW System Design Software," National Instruments.
- [12] A. Pal, I. Naskar. "Design of self-tuning fuzzy PI controller in LabVIEW for control of a real time process," in *Int. J. Electron. Comput. Sci. Eng.* 2012.
- [13] L. Sabri, H. Al-Mshat. "Implementation of fuzzy and PID controller to water level system using LabView," in *International Journal of Computer Applications*, vol. 116, no. 11, 2015.
- [14] Asha, K., et al, "Real Time Speed Control of a DC Motor by Temperature Variation Using LabVIEW and Arduino," in *2017 International Conference on Recent Advances in Electronics and Communication Technology (ICRAECT)*, 2017, pp. 72–75.
- [15] M. Zaki, U. Latifa. "Perancangan Sistem Kendali Kecepatan Motor DC Pitman Series GM 9000 Type GM9X33 Menggunakan Kontroler PID," in *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 10, no. 1, pp. 88–98, 2024.
- [16] S. Anggraini, A. Ma'arif, R. Puriyanto. "Pengendali PID pada Motor DC dan Tuning Menggunakan Metode Differential Evolution (DE)," in *TELKA-Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, vol. 6, no. 2, pp. 147–159, 2020.